



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102096420 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 14

(21) 申请号 200910258576. 7

(22) 申请日 2009. 12. 15

(73) 专利权人 株式会社堀场 STEC

地址 日本京都府京都市南区上鸟羽鉾立町
11-5

(72) 发明人 高桥明人 古川幸正 田中祐纪

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理
有限公司 11205

代理人 臧建明

(51) Int. Cl.

G05D 7/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101583916 A, 2009. 11. 18,

US 5567227 A, 1996. 10. 22,

CN 1848015 A, 2006. 10. 18,

CN 1461430 A, 2003. 12. 10,

US 6445980 B1, 2002. 09. 03,

JP 特开 2004-280689 A, 2004. 10. 07,

审查员 盛琳

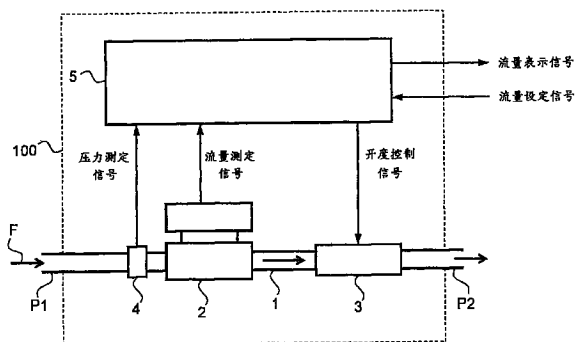
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

质量流量控制器

(57) 摘要

本发明使质量流量控制器的PI性能提高。在质量流量控制器中,基于一次侧压力、该一次侧压力的经时性变化量以及流量设定值中的至少两个,来对稳定状态下的用于PID运算中的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。



1. 一种质量流量控制器,其特征在于包括:

流量传感器部,对在流路内流动的流体的流量进行测定,并输出表示该流量的测定值的流量测定信号;

流量控制阀,设置在所述流量传感器部的上游侧或下游侧;

计算部,由所述流量测定信号表示的流量测定值与目标值即流量设定值的偏差实施PID运算,以计算出输出至流量控制阀的反馈控制值;以及

开度控制信号输出部,基于所述反馈控制值而产生开度控制信号,并输出至流量控制阀;

所述计算部基于一次侧压力以及该一次侧压力的经时性变化量,来对稳定状态下的用于PID运算中的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

2. 根据权利要求1所述的质量流量控制器,其特征在于:

所述计算部根据一次侧压力的经时性变化量的正负来对比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

3. 根据权利要求1所述的质量流量控制器,其特征在于:

所述计算部根据一次侧压力的经时性变化量的正负,对比例系数、积分系数以及微分系数进行变更,接着,使用将流量设定值代入至规定的函数中而获得的值来进行规定运算,借此来对经变更的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更,然后,使用将一次侧压力代入至规定的函数中而获得的值来进行规定运算,借此来对经变更的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

质量流量控制器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对气体 (gas) 或液体等的流体的流量进行控制的质量流量控制器 (mass flow controller)。

背景技术

[0002] 例如,当将用于制造半导体的各种气体等供给至半导体制造装置时,在这些气体等的供给流路中分别设置质量流量控制器,借此来对气体流量分别进行调节。而且,先前在各质量流量控制器上分别串联附带着压力调节器 (pressure regulator),使各质量流量控制器的流路内压力不会发生极端的变动,从而使流量控制变得容易。

[0003] 所述质量流量控制器的流量控制方式基本上是比例积分微分 (Proportional Integral Derivative, PID) 控制,例如,如专利文献 1 所示,已知在过渡性响应状态与稳定状态下,对 PID 系数进行切换而进行反馈控制 (feedback control)。

[0004] 具体而言,专利文献 1 所示的技术是使用将流量设定值代入至规定的函数中所得的值,来作为与比例运算中之偏差相乘的增益值 (gain value),例如代入的流量设定值越小,则计算出的稳定状态下所使用的所述规定的函数的值就越小。即,专利文献 1 所示的先前的质量流量控制器仅是使稳定状态下的比例系数、积分系数以及微分系数 (以下也称作 PID 系数) 仅与流量设定值成比例地变更。

[0005] 然而,本申请案发明人获得了如下的实验结果:在稳定状态下,当一次侧压力 (valve inlet pressure) 上升时与下降时, PID 系数的最佳值不同;即便一次侧压力的经时性变化量相同,如果变化前的一次侧压力不同,那么 PID 系数仍不同;而且,流量设定值与 PID 系数最佳值并无线性关系。于是明白了在稳定状态下,如果仅使 PID 系数与流量设定值成比例,那么压力钝感 (Pressure Insensitive, PI) 性能的提高存在极限。

[0006] 专利文献:日本专利特开 2007-34550 号公报

发明内容

[0007] 因此,本发明是为了一举解决所述问题点而研制成的,其主要的预期课题在于使质量流量控制器的 PI 性能进一步提高。

[0008] 即,本发明的质量流量控制器的特征在于包括:流量传感器 (sensor) 部,对在流路内流动的流体的流量进行测定,并输出表示该流量的测定值的流量测定信号;流量控制阀,设置在所述流量传感器部的上游侧或下游侧;计算部,由所述流量测定信号表示的流量测定值与目标值即流量设定值的偏差实施 PID 运算,以计算出输出至流量控制阀的反馈控制值;以及开度控制信号输出部,基于所述反馈控制值而产生开度控制信号,并输出至流量控制阀;所述计算部基于一次侧压力、该一次侧压力的经时性变化量以及所述流量设定值中的至少两个,来对稳定状态下的用于 PID 运算中的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

[0009] 根据如上所述的质量流量控制器,由于基于一次侧压力、该一次侧压力的经时性

变化量以及所述流量设定值中的至少两个,来对稳定状态下的用于 PID 运算中的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更,因此,与先前的通过流量设定值来使比例系数、积分系数以及微分系数成比例地变更的方法相比,可获得更合适的比例系数、积分系数以及微分系数,结果,不易受到一次侧压力的压力变动的影响,可进行稳定的流量控制。

[0010] 特别是在稳定状态下,当一次侧压力上升时与下降时,比例系数、积分系数以及微分系数的最佳值有所不同,因此,较理想的是,所述计算部根据一次侧压力的经时性变化量的正负来对比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

[0011] 为了使比例系数、积分系数以及微分系数成为最佳值,不易受到一次侧压力的压力变动的影响,并进行稳定的流量控制,较理想的是,所述计算部根据一次侧压力的经时性变化量的正负,对比例系数、积分系数以及微分系数进行变更,接着,使用将流量设定值代入至规定的函数中而获得的值来进行规定运算,借此来对经变更的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更,然后,使用将一次侧压力代入至规定的函数中而获得的值来进行规定运算,借此来对经变更的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更。

[0012] [发明的效果]

[0013] 根据以所述方式构成的本发明,可使质量流量控制器的 PI 性能提高。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明的一实施方式的质量流量控制器的整体示意图。

[0015] 图 2 是使用该实施方式的质量流量控制器的流量控制系统的构成图。

[0016] 图 3 是该实施方式中的控制部的功能方块图。

[0017] 图 4 是表示该实施方式中的 PID 系数变更顺序的流程图。

[0018] 图 5(a)、图 5(b) 是表示用于变更 PID 系数的函数的示意图。

[0019] [符号的说明]

- | | | |
|--------|----------------------|-------------|
| [0020] | 1 流路 | 2 流量传感器部 |
| [0021] | 3 流量控制阀 | 4 压力传感器部 |
| [0022] | 5 控制部 | 6 信号接收部 |
| [0023] | 7 计算部 | 8 开度控制信号输出部 |
| [0024] | 9 流量输出部 | 71 偏差计算部 |
| [0025] | 72 控制值计算部 | 100 质量流量控制器 |
| [0026] | B 流体供给源 | F 流体 |
| [0027] | FV 气压阀 | P1 导入口 |
| [0028] | P2 导出口 | PR 压力调节器 |
| [0029] | S1、S2、S3、S4、S5、S6 步骤 | |

具体实施方式

[0030] 以下,参照附图来对本发明的质量流量计 100 的一实施方式进行说明。另外,图 1 是本实施方式的质量流量控制器的整体示意图,图 2 是使用质量流量控制器的流量控制系统(system)的构成图,图 3 是控制部的功能方块图,图 4 是表示 PID 系数变更顺序的流程图(flow chart),图 5 是表示用于变更 PID 系数的函数的示意图。

[0031] < 装置构成 >

[0032] 如图 1 所示,本实施方式的质量流量控制器 100 包括:内部流路 1;流量传感器部 2,对在所述内部流路 1 内流动的流体 F 的流量进行测定;流量控制阀 3,设置在所述流量传感器部 2 的例如下游侧;压力传感器部 4,设置在所述流量传感器部 2 及流量控制阀 3 的上游侧;以及控制部 5;且例如图 2 所示,该质量流量控制器 100 是用在气体供给系统中,该气体供给系统在半导体制程 (process) 中,将气体供给至腔室 (chamber)。

[0033] 以下对各部分进行说明,在内部流路 1 的上游端开口以形成导入口 (port)P1,在该内部流路 1 的下游端开口以形成导出口 P2,例如,导入口 P1 经由外部配管而与储气瓶 (bomb) 等的流体供给源 B 相连接,导出口 P2 经由外部配管而与用以制造半导体的腔室 (未图示) 相连接。另外,该实施方式中,如图 2 所示,从一个流体供给源 B 分支出多个配管,在各配管上分别设置质量流量控制器 100。并且,压力调节器 PR 仅设置在流体供给源 B 的出口,并未分别在各配管上设置质量流量控制器 100 用的压力调节器。另外,符号 FV 是气压阀。

[0034] 虽然未对流量传感器部 2 的详细内容进行图示,但该流量传感器部 2 例如包括设置在流路 1 上的一对热传感器 (thermal sensor),通过该热传感器来将流体 F 的瞬时流量检测为电信号,且通过内部电子电路来将该电信号放大等,接着输出具有与检测流量相对应的值的流量测定信号。

[0035] 虽然同样未对流量控制阀 3 的详细内容进行图示,但该流量控制阀 3 例如可通过包含压电元件 (piezoelectric element) 的致动器 (actuator) 来使阀开度发生变化,且通过接收来自外部的电信号即开度控制信号来对所述致动器进行驱动,将阀开度调整为与该开度控制信号的值相对应的阀开度,从而对流体 F 的流量进行控制。

[0036] 虽然未对压力传感器部 4 的详细内容进行图示,该压力传感器部 4 例如包括膜片 (diaphragm) (不锈钢膜片 (stainless diaphragm) 或硅膜片 (silicon diaphragm) 等) 及对该膜片的位移进行测量的压敏元件 (pressure sensitive element),通过该压敏元件来将膜片的位移检测为电信号,通过内部电子电路来将该电信号放大等,接着输出具有与检测流量相对应的值的压力测定信号。

[0037] 控制部 5 是由具有中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、存储器 (memory)、模拟 / 数字转换器、数字 / 模拟转换器等数字 (digital) 或模拟 (analog) 电子电路所构成,该控制部 5 可为专用的控制部,也可在一部分或全部中使用个人电脑 (personal computer) 等的通用电脑。另外,该控制部 5 可不使用 CPU 而是仅利用模拟电路来发挥所述各部分的功能,也可由通过有线或无线来彼此连接的多个设备所构成,而无需在物理性上成为一体。

[0038] 另外,将规定的程序 (program) 存储在所述存储器中,根据该程序来使 CPU 或该 CPU 的周边设备协同运转,借此,如图 3 所示,所述控制部 5 至少发挥作为信号接收部 6、计算部 7、开度控制信号输出部 8 以及流量输出部 9 的功能。

[0039] 信号接收部 6 接收从流量传感器部 2 发送而来的流量测定信号、从其他电脑等输入的流量设定信号等、以及从压力传感器部 4 发送而来的压力测定信号,并将这些信号的值存储至例如存储器内的规定区域。

[0040] 计算部 7 包括:偏差计算部 71,取得由所述流量测定信号表示的流量测定值,并且

对该流量测定值与目标值即所述流量设定信号所表示的流量设定值的偏差进行计算；以及控制值计算部 72，对所述偏差实施 PID 运算而计算出施加至流量控制阀 3 的反馈控制值。

[0041] 开度控制信号输出部 8 产生具有基于所述反馈控制值的值的开度控制信号，并将该开度控制信号输出至流量控制阀 3。

[0042] 流量输出部 9 对所述流量测定值实施规定的运算而计算出流量表示值，并以可在外部被利用的方式而将具有该流量表示值来作为值的流量表示信号（模拟信号或数字信号）予以输出。

[0043] 而且，在该实施方式中，控制值计算部 72 基于一次侧压力（供给压）、该一次侧压力的经时性变化量以及所述流量设定值，对流量稳定流动的状态（稳定状态）下的用于 PID 运算中的比例系数 (P)、积分系数 (I) 以及微分系数 (D)（即，稳定状态的 PID 控制过程中所使用的 PID 系数）进行变更。此处，所谓稳定状态是指除了变化期间（例如两秒左右）以外的期间的状态，流量设定值几乎不发生变化，所述变化期间是从使流量设定值在单位时间内变化规定量或规定量以上的时间点算起的规定期间。另外，按照相对于满量程值 (full scale) 的百分比值计，所谓规定量是指 0 ~ 10% 左右，优选 0.3% ~ 5%。另外，所谓规定期间是指数秒左右，具体而言为 0 秒 ~ 10 秒左右，优选 0.3 秒 ~ 5 秒。

[0044] 更详细而言，控制值计算部 72 根据一次侧压力（质量流量控制器的上游侧的压力）的经时性变化量的正负，对比例系数、积分系数以及微分系数（以下也称作 PID 系数）进行变更，接着，使用将流量设定值代入至规定的函数而获得的值来进行运算，借此来对经变更的 PID 系数进行变更，然后，使用将一次侧压力代入至规定的函数中而获得的值来进行运算，借此来对经变更的 PID 系数进行变更。而且，控制值计算部 72 根据一次侧压力的经时性变化量的正负，即，根据 $dp/dt > 0$ 的情况与 $dp/dt \leq 0$ 的情况，来使流量设定值所固有的函数改变及使一次侧压力所固有的函数改变。

[0045] 以下，参照图 4 来对控制值计算部 72 的具体的变更方法进行说明。

[0046] 首先，控制值计算部 72 取得由压力传感器部 4 而获得的一次侧压力的压力测定信号，对一次侧压力及该一次侧压力的经时性变化量进行计算。

[0047] 接着，控制值计算部 72 对一次侧压力的经时性变化量的正负进行判断（步骤 (step) S1）。当判断出一次侧压力的经时性变化量为正 ($dp/dt > 0$) 时，即，当一次侧压力上升时，控制值计算部 72 通过以下的数学式，并基于流量设定值来对 PID 系数进行变更（步骤 S2）。

$$[0048] \quad P' = P \times Fu(\text{set}) \quad (1)$$

$$[0049] \quad I' = I \times Fu(\text{set}) \quad (2)$$

$$[0050] \quad D' = D \times Fu(\text{set}) \quad (3)$$

[0051] 此处， $Fu()$ 是流量设定值所固有的函数即设定系数函数， set 表示流量设定值。如图 5(a) 所示，本实施方式的设定系数函数 Fu 是 0-50% 的比例常数与 50% ~ 100% 的比例常数有所不同的折线函数。折线形状并不限于此，可适当设定该折线形状。另外，可将该设定系数函数 Fu 设为曲线函数，但存在运算处理量增大且难以对 PID 系数进行调整的问题。

[0052] 接着，控制值计算部 72 通过以下的数学式，并基于一次侧压力来对通过所述 (1) ~ (3) 而获得的 P' 、 I' 、 D' 系数进行变更（步骤 S3）。

$$[0053] \quad P'' = P' \times Gu(p) \quad (4)$$

$$[0054] \quad I'' = I' \times Gu(p) \quad (5)$$

$$[0055] \quad D'' = D' \times Gu(p) \quad (6)$$

[0056] 此处, $Gu()$ 是一次侧压力所固有的函数即压力系数函数, p 表示一次侧压力值。如图 5(a) 所示, 本实施方式的压力系数函数是对与所输入的一次侧压力成比例的值所计算出的比例函数。另外, 也可将该压力系数函数 Gu 设为折线函数或曲线函数。在将该压力系数函数 Gu 设为曲线函数的情况下, 存在运算处理量增大且难以对 PID 系数进行调整的问题。

[0057] 根据以上内容, 当一次侧压力的经时性变化量为正时, 控制值计算部 72 基于流量设定值及一次侧压力来将 P 、 I 、 D 变更为 P'' 、 I'' 、 D'' , 并使用该 PID 系数 (比例系数 P'' 、积分系数 I'' 以及微分系数 D'') 来对偏差实施 PID 运算, 以计算出反馈控制值 (步骤 S4)。

[0058] 另一方面, 控制值计算部 72 在判断出一次侧压力的变化量为负的情形下, 即, 当一次侧压力下降时, 通过以下的数学式, 并基于流量设定值来对 PID 系数进行变更 (步骤 S5)。

$$[0059] \quad P' = P \times Fd(set) \quad (7)$$

$$[0060] \quad I' = I \times Fd(set) \quad (8)$$

$$[0061] \quad D' = D \times Fd(set) \quad (9)$$

[0062] 此处, $Fd()$ 是流量设定值所固有的函数即设定系数函数, set 表示流量设定值。如图 5(b) 所示, 该设定系数函数 Fd 是与所述设定系数函数 Fu 相同的折线函数, 但拐点 (bending point) 及比例常数有所不同。另外, 可将该设定系数函数 Fd 设为曲线函数, 但存在运算处理量增大且难以对 PID 系数进行调整的问题。

[0063] 其次, 控制值计算部 72 通过以下的数学式, 并基于一次侧压力来对通过所述 (7) ~ (9) 而获得的 P' 、 I' 、 D' 系数进行变更 (步骤 S6)。

$$[0064] \quad P'' = P' \times Gd(p) \quad (10)$$

$$[0065] \quad I'' = I' \times Gd(p) \quad (11)$$

$$[0066] \quad D'' = D' \times Gd(p) \quad (12)$$

[0067] 此处, $Gd()$ 是一次侧压力所固有的函数即压力系数函数, p 表示一次侧压力值。如图 5(b) 所示, 该压力系数函数 Gd 是与所述压力系数函数 Fd 相同的比例函数, 但比例常数与所述压力系数函数 Fd 的比例常数不同。另外, 也可将该压力系数函数 Gd 设为折线函数或曲线函数。在将该压力系数函数 Gd 设为曲线函数的情况下, 存在运算处理量增大且难以对 PID 系数进行调整的问题。

[0068] 根据以上内容, 当一次侧压力的经时性变化量为负时, 控制值计算部 72 基于流量设定值及一次侧压力来将 P 、 I 、 D 变更为 P'' 、 I'' 、 D'' , 并使用该 PID 系数 (比例系数 P'' 、积分系数 I'' 以及微分系数 D'') 来对偏差实施 PID 运算, 以计算出反馈控制值 (步骤 S4)。

[0069] < 本实施方式的效果 >

[0070] 根据以所述方式构成的本实施方式的质量流量控制器 100, 由于基于一次侧压力、该一次侧压力的经时性变化量以及所述流量设定值, 来对稳定状态下的用于 PID 运算中的比例系数、积分系数以及微分系数进行变更, 因此, 与先前的通过流量设定值来使比例系数、积分系数以及微分系数成比例地变更的方法相比, 可获得更合适的比例系数、积分系数以及微分系数, 结果, 不易受到一次侧压力的压力变动的影 响, 可进行稳定的流量控制。

[0071] < 其他变形实施方式 >

[0072] 另外,本发明并不限于所述实施方式。在以下的说明中,对与所述实施方式相对应的构件附上相同的符号。

[0073] 例如,在所述实施方式中,基于一次侧压力、该一次侧压力的经时性变化量以及所述流量设定值的全部来对PID系数进行变更,但也可使用所述三个中的两个例如一次侧压力与该一次侧压力的经时性变化量的组合、或一次侧压力与流量设定值等的组合来进行变更。

[0074] 而且,在所述实施方式中,PID系数的变更顺序是“根据一次侧压力的经时性变化量来进行变更”→“根据流量设定值来进行变更”→“根据一次侧压力来进行变更”的顺序,但并不限于此顺序,也可为其他组合。

[0075] 另外,也可将控制阀设置在流量传感器部的上游侧,流量传感器部并不限于所述热传感器,也可为差压式传感器(differential pressuresensor)等的其他流量测定方式的传感器。

[0076] 此外,可将所述实施方式或变形实施方式的一部分或全部加以适当组合,当然本发明并不限于所述实施方式,可在不脱离本发明的主旨的范围内进行各种变形。

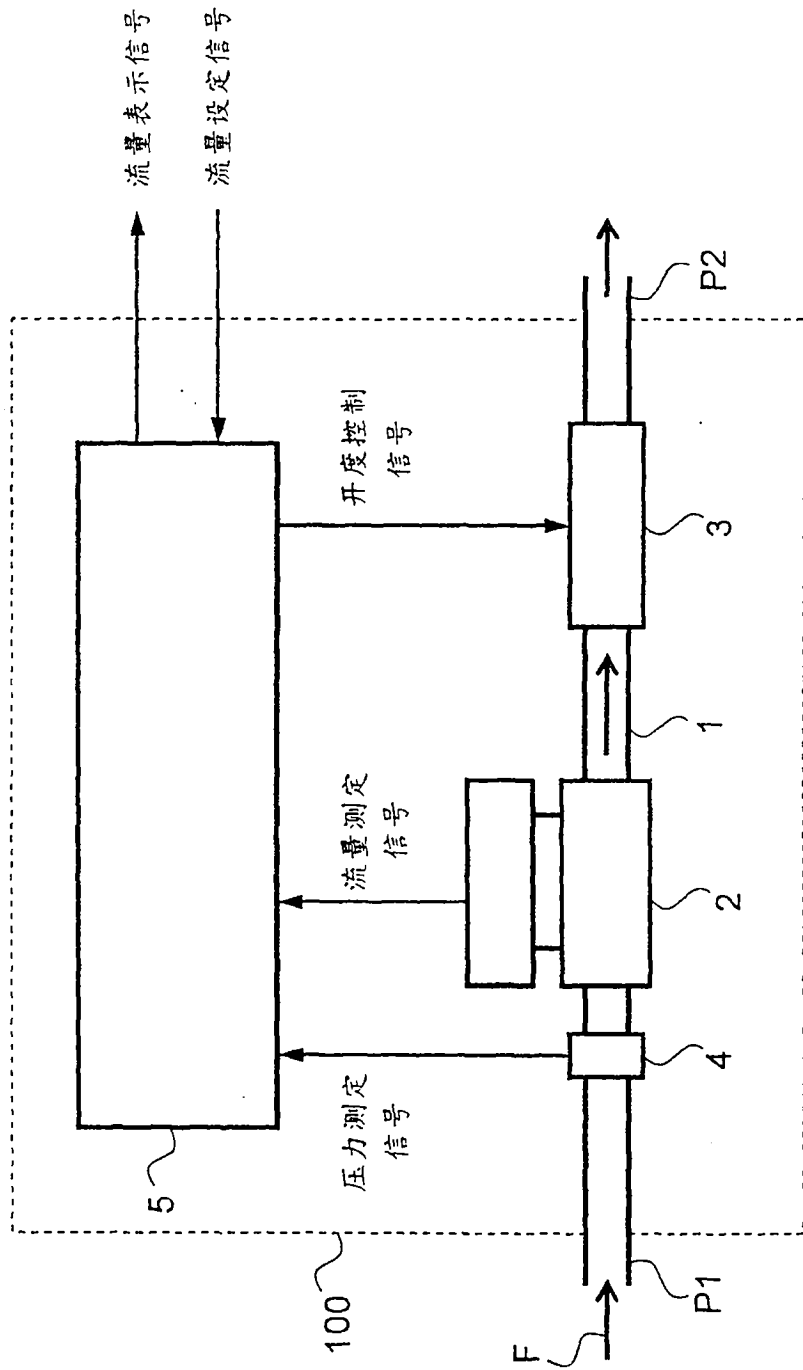


图 1

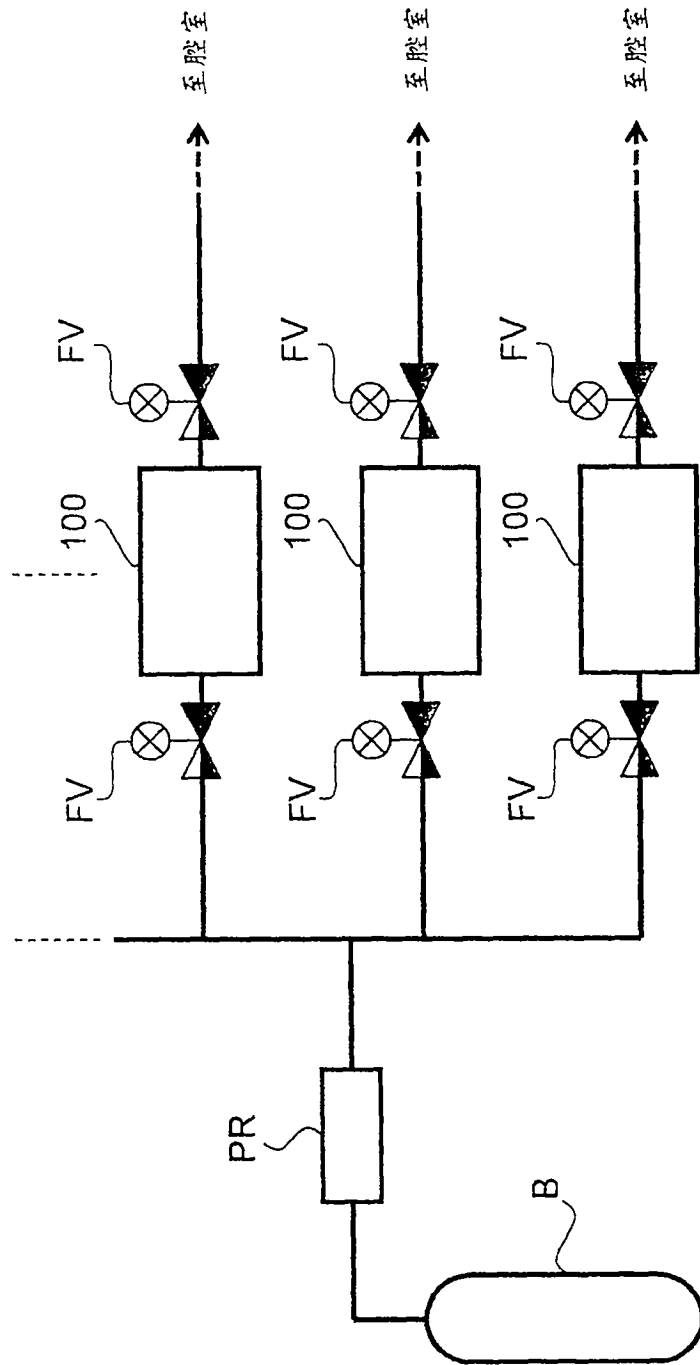


图 2

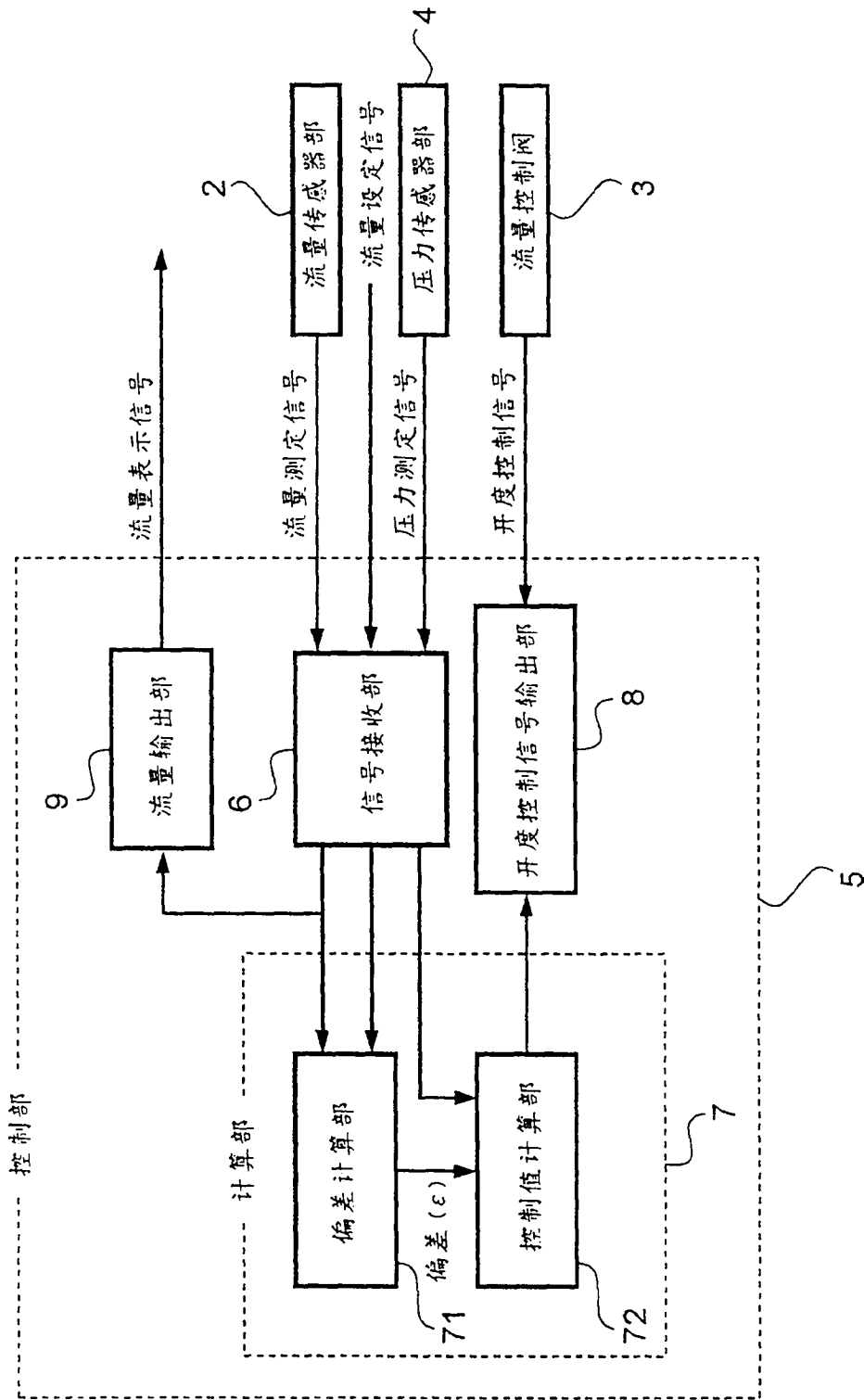


图 3

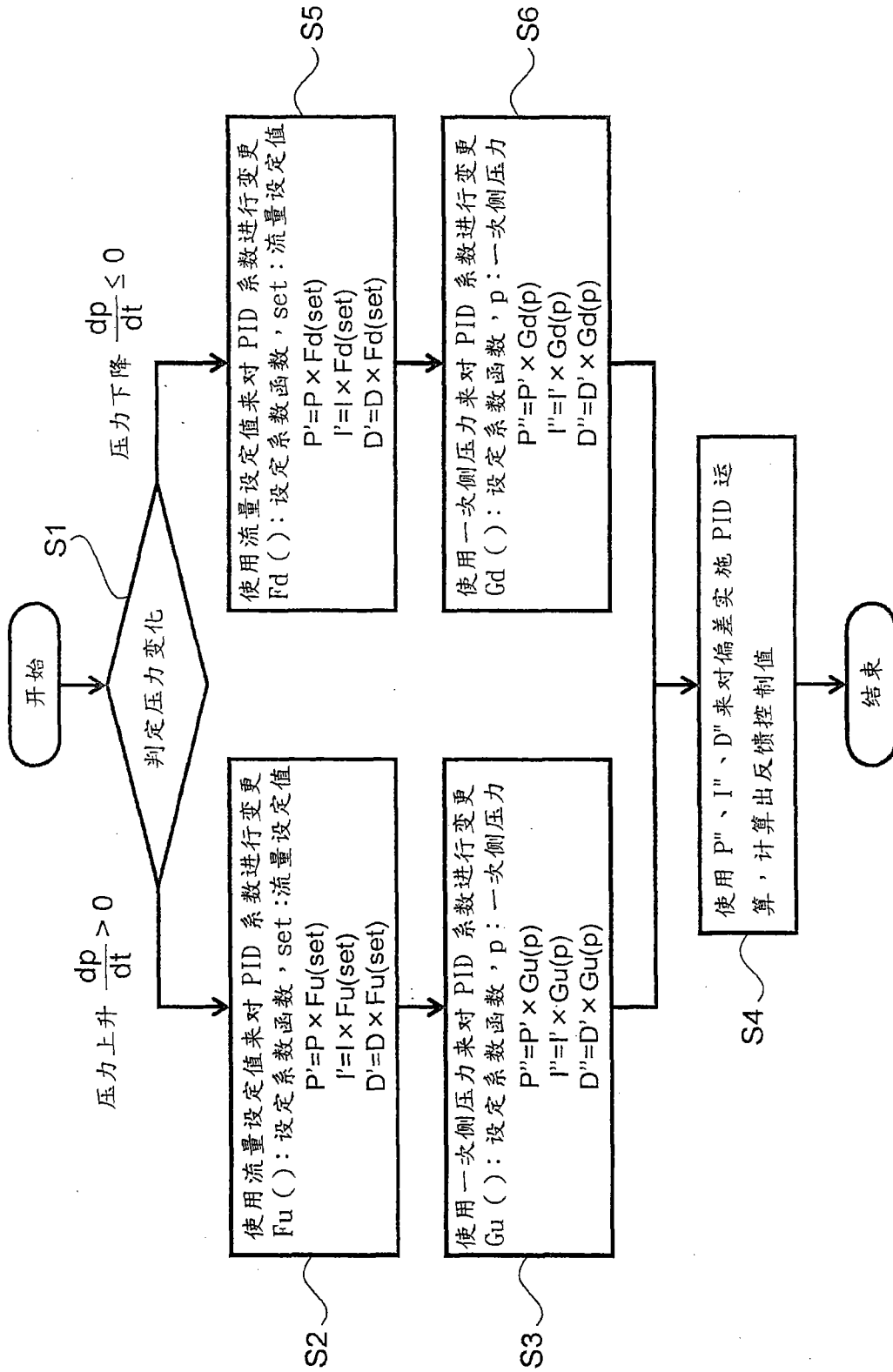


图 4

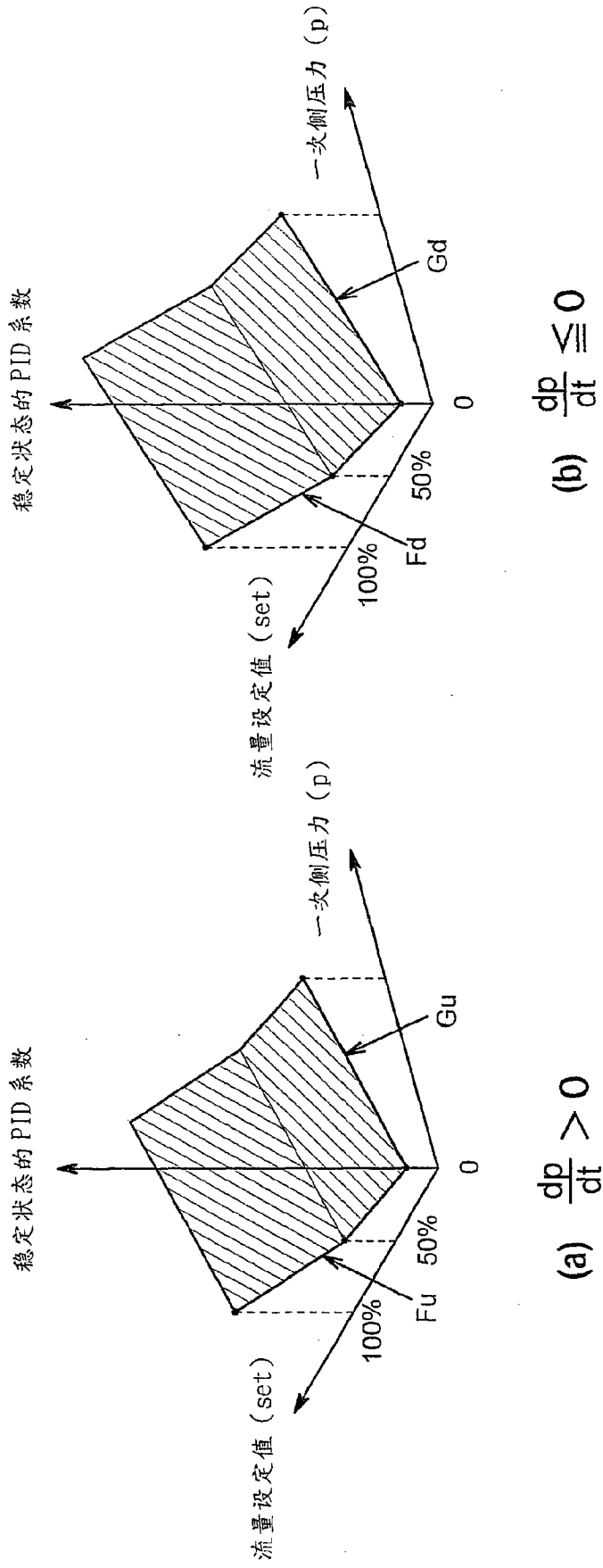


图 5